論文 加熱を受けたせん断破壊先行型 RC 柱の残存耐力に関する研究

高木 仁之*1·小川 徽*2·白石 一郎*3

要旨:本研究は,都市直下型地震で多数の建物が火災被害を受けた場合を想定し,当該建築物の短期間継続 使用の可能性を調査するものである。加熱炉で加熱を受けた RC 柱の模型実験を実施し,その耐震性能劣化 を検討した。本報は文献¹⁾,文献²⁾の継続としてせん断破壊先行型 RC 柱を計画し,せん断補強筋量の影響 や加熱継続時間による劣化の違いを検討している。さらに,曲げせん断加力実験終了後,軸力載荷実験を実 施し,加熱および水平力による損傷を受けた RC 柱の軸支持能力等についても検討した。

キーワード:鉄筋コンクリート柱,耐火,せん断破壊先行型

1. はじめに

2011年の東日本巨大地震発生後,宮城県気仙沼市一帯 が大規模火災に見舞われた。このような災害時,被災者 らの避難先は公共施設である。これらの多くはRC構造 の建築物であり,火災後も多くの場合構造体自体は燃焼 せず,また熱による変形も少ないが,実際には構造性能 において耐力の低下が考えられる。よって火災後の RC 構造物が,その後の余震や載荷荷重に耐え得るのか懸念 される。しかし,RC部材の耐火実験は少なく,普通強 度コンクリートを用いた RC 構造物の実験データは特に 少ない。

本稿は普通強度コンクリートを用いたせん断破壊モ ード柱の試験体を高温加熱した後に曲げせん断加力実験, および軸圧縮実験を行い,構造性能劣化の検討等をする。 ただし,通常の地震→火災→余震というサイクルではな く,本稿では火災被害後の地震に対する耐力を検討する。

2. 実験の概要

2.1 試験体

試験体を図-1, 試験体一覧を表-1に示す。試験体は 3,4 階建ての学校建築の RC 柱を想定したもので,約 1/2 スケールの断面 350mm×350mm(かぶり厚さは 40mm), 高さ 1050mm である。全てせん断破壊モード柱として計 画する。試験体 No.1~No.3 は RC 基準最低量の帯筋比 pw=0.2%で No.1 は加熱なし, No.2 は1時間加熱, No.3 は 2時間加熱である。No.4,No.5 は pw=0.6%で No.4 は加 熱なし, No.5 は 2時間加熱, また No.6 は pw=1.0%の 2 時間加熱とする。

2.2 加熱方法

加熱温度は ISO834 標準加熱温度時間曲線に準拠し,1 時間後に 945℃,2 時間後に 1049℃に達する加熱を実施 した。なお,加熱においては試験部以外の燃焼を防ぐた め,試験部外のスタブには耐火被覆を施した。また,加熱

*1 明治大学 理工学部建築学科 准教授 工博 (正会員)

*2 大成建設株式会社 (前 明治大学大学院 理工学研究科建築学専攻) 修士(工学)

*3 日本工業大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)





図-2 炉内温度(1時間加熱:No.2,2時間加熱:No.3) ま-1 試験体一覧

| | | 2 1 14 | | | | |
|------|--------------|----------------------|--|----------------|------|--|
| 試験体 | 軸圧縮応力度 | コンクリート 実圧縮強度 | 帯筋比 | 加熱継続時間 | 材令 | |
| | (N/mm^2) | (N/mm ²) | (%) | (時間) | (日) | |
| No.1 | | 28.9 | | 0 | | |
| No.2 | | 37.0 | 0.2 | 1 | ≒180 | |
| No.3 | | 27.3 | | 2 | | |
| No.4 | 4 | 24.9 | 0.6 | 0 | | |
| No.5 | | 30.2 | | 2 | | |
| No.6 | | 29.6 | 1.0 | 2 | | |
| | No 1 o No 2 | 主筋 | 6-D19 | 9, sσy=401 N/r | nm² | |
| | No.1~No.3 | 帯筋 | 2–D6, σ wy= 366N/mm ² | | | |
| 使用鉄肋 | No 4 to No 6 | 主筋 | $8-D22$, s $\sigma y = 400 \text{N/mm}^2$ | | | |
| | No.4∼No.6 | 帯筋 | 2-D10, σ wy= 344N/mm ² | | | |

時の軸力加力等は一切行っていない。以下 ISO834 式(1) による炉内温度計測結果の一部を図-2 に示す。

(1)

 $T=345\log_{10}(8t+1)+20$

T:平均炉内温度(℃), t:試験体の加熱経過時間(分)

2.3 加力·計測計画

本研究は加熱後に曲げせん断加力実験を行う。また曲 げせん断加力実験終了後に,残存軸耐力の確認のため軸 圧縮載荷実験を行った。曲げせん断実験の加力は鉛直ジ ャッキにより一定軸力(4N/mm²)を作用させながら,水平 アクチュエータにより水平力を正負交番繰り返し載荷で 変位角 1/50 まで行い,軸圧縮実験では鉛直ジャッキによ り単調繰り返し載荷を行った。ただし,軸圧縮実験では 加力機の能力が最大 2000kN のため,それに達する手前 のステップに至るまで載荷を行った。また,曲げせん断 実験では水平変位計を,軸圧縮実験では鉛直変位計を使 用した。曲げせん断実験の加力装置と変位計位置を図-3,軸圧縮実験を同様に図-4に示す。

3. 実験後の破壊性状

図-5 に, 試験体 6 体それぞれの破壊状況を示す。写 真はそれぞれ(a) 加熱後(加力前), (b) 曲げせん断破壊 実験終了時, (c) 軸圧縮実験終了時の写真である。

(1) 加熱後(加力前)

No.1,No.4 は無加熱・無傷の状態である。1 時間加熱の No.2 は柱中央の隅角部脱落と表面に無数のひび割れが 生じていた。2 時間加熱の No.3,No.5,No.6 はスタブ付近 を除き著しく表面の損傷・剥落が生じている。No.5 は一 部, No.6 は大部分のかぶりが脱落し,帯筋が露出するま でに至っていた。

(2) 曲げせん断破壊実験終了時

pw=0.2%かつ加熱なしの No.1 は変位角 1/50 の加力で突 然試験体を分断するせん断ひび割れが発生し,終局を迎 えた。pw=0.2%で加熱ありの No.2,No.3 は,変位角 1/100 あたりで主筋に沿ったひび割れが進行し,変位角 1/50 で 加力を終了させた。pw=0.6%で加熱なし No.4 は加力とと もにせん断ひび割れが進行し,いくつもの斜めひび割れ が生じた。pw=0.6%以上で 2 時間加熱の No.5,No.6 はか ぶりが大きく脱落しゆき,主筋に沿ってのひび割れが進 行した。

(3) 軸圧縮実験後

pw=0.2%かつ無加熱の No.1 は斜めに亀裂したせん断



図-3 曲げせん断実験の加力装置(左)と変位計位置(右)



図-4 軸圧縮実験の加力装置(左)と変位計位置(右)

ひび割れに沿って終局を迎えた。pw=0.2%で加熱ありの No.2,No.3, pw=0.6%で無加熱の No.4 は主筋に沿ってひ び割れが進行し, コンクリートかぶりが剥落して圧壊し た。pw=0.6%以上で 2 時間加熱の No.5,No.6 はかぶりが 脱落後, 柱中央付近の帯筋 135° フックが外れ, 終局状 態に達した。



4. 曲げせん断破壊実験の結果

4.1 初期剛性

曲げせん断破壊実験で得られた荷重-変位関係を図

-6 に示す。各試験体の荷重変形曲線において初期の傾き(全水平変形に対するせん断力)より実験値の初期剛性 ko を求めた。ただし,初期剛性の計算値 ke は以下に示す弾性剛性式(2)により計算した。

$$k_{e} = \left(\frac{h_{o}^{2}}{12EI} + \frac{kh_{o}}{GA}\right)^{-1}$$
(2)

ここで,ho:部材長,E:コンクリートのヤング係数(テス トピース値より算出),I:断面2次モーメント,κ:形状係 数,G:コンクリートのせん断弾性係数,A:断面積。それ ぞれの初期剛性結果を**表-2**に示す。

加熱ありの No.2, No.3, No.5, No.6 の実験値は計算値を大 きく下回り,加熱による剛性低下が伺える。また,実験 値における残存初期剛性比は pw=0.2%においては No.2 は No.1 の 40%(78.0/195.9=0.40), No.3 は 24%(46.4/195.9 =0.24)と加熱時間によって異なり, pw=0.6%の No.5 は No.4 の 4%(7.6/205.4=0.04)と大変低い数値を示した。

| 試験体 | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--|--|
| 実験値 | 195.9 | 78.0 | 46.7 | 205.4 | 7.6 | <u> </u> | | |
| [kN/mm] | (1.00) | (0.40) | (0.24) | 《1.00》 | 《0.04》 | 0.9 | | |
| 計算値 [kN/mm] | 261.4 | 283.8 | 256.4 | 248.7 | 265.2 | 263.4 | | |
| 実験値/ 計算値 | 0.75 | 0.27 | 0.18 | 0.83 | 0.03 | 0.03 | | |

表-2 初期剛性の実験値と計算値

4.2 最大耐力

最大耐力を表-3 に示す。ただし、実験値のかっこ内 は、無加熱試験体に対する加熱試験体の耐力比を示す。 また、最大耐力の計算値は加熱前かつせん断破壊先行と し、以下の荒川 mean 式(3)によって算出した。

$$V_{u} = \left\{ \frac{0.068 p_{t}^{0.23} (F_{c} + 18)}{\frac{M}{Od} + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{w} \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_{o} \right\} bj \quad (3)$$

ここで, F_c :テストピースによるコンクリート圧縮強 度, p_t ;引張鉄筋比(%), pw:帯筋比, σ_{wy} :横補強筋降伏 強度, σ_o :柱の圧縮軸応力度(4N/mm²), j:7/8d である。

初期剛性同様,加熱を加えた No 2,No.3,No.5,No.6 の実験値は計算値を大きく下回り,加熱による耐力低 下が伺える。また,実験値における残存耐力比は pw=0.2% においては No.2 は No.1 の 68 % (175.1/258.9=0.68), No.3 は 58%(149.1/258.9=0.58)と加 熱時間によってやや異なり, pw=0.6%においては No.5 は No.4 の 33%(106.2/318.0=0.33)を示した。

表-3 最大耐力の実験値と計算値

| 試験体名 | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 実験値 | 258.9 | 175.1 | 149.1 | 318.0 | 106.2 | 00.1 |
| [kN] | (1.00) | (0.68) | (0.58) | 《1.00》 | 《0.33》 | 90.1 |
| 計算値 [kN] | 238.2 | 262.3 | 233.6 | 292.1 | 310.1 | 341.5 |
| 実験値/ 計算値 | 1.09 | 0.67 | 0.64 | 1.09 | 0.34 | 0.28 |

4.3 エネルギー吸収量

各試験体における,各変位段階繰り返し終了時の履歴ル ープエネルギー量を求め**表-4**, **図-7**に示す。

(1) pw=0.2%での比較

加熱時間のみが異なる pw=0.2% シリーズ No.1,No.2, No.3 を比較すると,加熱時間が長いほどエネルギー吸 収が小さくなるが, No.2 と No.3 に大きな差異はない。 (2) 加熱時間 2 時間での比較

帯筋比が異なる2時間加熱シリーズにおけるNo.3,No.5, No.6 について比較する。帯筋が多いNo.5 とNo.6 がNo.3 と比べて圧倒的にエネルギー吸収量が少ないが,これら 2 体は加熱中にコンクリートかぶりが剥落し(特に pw=1.0%のNo.6),断面欠損が著しく生じたことに起因 している可能性がある。



図-6 曲げせん断実験の荷重-変位関係

| | | | | | • | |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 変形角 | 1/800 | 1/400 | 1/200 | 1/100 | 1/75 | 1/50 |
| No.1 | 122 | 299 | 659 | 1919 | 2085 | 4700 |
| No.2 | 60 | 223 | 438 | 1245 | 1437 | 2769 |
| No.3 | 60 | 157 | 407 | 1182 | 1226 | 2334 |
| No.4 | 127 | 325 | 833 | 2065 | 2974 | 5050 |
| No.5 | 8 | 18 | 41 | 102 | 115 | 287 |
| No 6 | 5 | 13 | 34 | 90 | 79 | 76 |

表-4 エネルギー吸収量(kN・mm)



5. 軸圧縮実験の結果

5.1 軸圧縮荷重一鉛直変位曲線

図ー8, **図ー9**に軸圧縮荷重-鉛直変位曲線を示す。

(1) pw=0.2%における比較 (図-8)

加熱はないものの明確なせん断ひび割れを生じた No.1の試験体が緩やかな包絡線を描いている。加熱あり の No.2,No.3 は軸圧縮荷重が大きいものの,最大に達す ると同時に大きな変位を生じ,脆性的な挙動を示した。

(2) 加熱時間 2 時間における比較 (図-9)

せん断拘束量の多い pw=0.6%以上の No.5,No.6 が粘り 強い挙動を示しているが, pw=0.2%である No.3 の方が最 大耐力や剛性が大きい値を示している。また, pw=0.6% と1.0%における差異はほとんど見受けられず, 軸圧縮荷 重一鉛直変位曲線においてほぼ同値を示した。

5.2 最大軸圧縮耐力

火災前の純圧縮耐力(計算値: $\sigma_B A_C + s \sigma_y A_s$)として 計算した計算値,実際に軸圧縮した実験値を**表-5**に示 す。また,最大計測荷重のかっこ内の値は,加力後の最 大耐力(実験値)と計算値との比を表す。加熱なしの試 験体は最大耐力に達していないので特に比較は行わない が,加熱ありの試験体はいずれも純圧縮耐力の25%前後 で帯筋の135°フックが外れ,圧壊して終局に至ってい る。

6. せん断耐力評価

6.1 鉄筋の残存強度評価

加熱後の鉄筋降伏点強度残存比の推定を,既存の文献 3)より得られた加熱冷却後の常温時強度から低減値を求 め,使用した鉄筋の平均降伏強度にその数値を乗じて加 熱冷却後の鉄筋降伏強度を求め,これを表-6に示す。



表--5 最大軸圧縮耐力

| 試験体 | 加熱前の コンクリート 圧縮強度 (実験値) | 加熱前の 全圧耐力 (計算値) _(kN) | 最大計測荷重 (実験値) (kN) | 軸圧縮実験 における備考 |
|------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|---------------------------|
| No.1 (pw=0.2% 加熱なし) | 28.9 | 4180.0 | 1770.0 | 加力機能力限界 強制終了 |
| No.2 | 37.0 | 5158 | 1302 | 最大耐力 |
| (pw=0.2% 1時間加熱) | | (1.00) | (0.25) | 0.3bD |
| No.3 | 27.3 | 3986 | 1625 | 最大耐力 |
| (pw=0.2% 2時間加熱) | | (1.00) | (0.41) | 0.5bD |
| No.4 (pw=0.6% 加熱なし) | 24.9 | 4212.0 | 1834.0 | 加力機能力限界 強制終了 |
| No.5 | 30.2 | 4845 | 1227 | 最大耐力 |
| (pw=0.6% 2時間加熱) | | (1.00) | (0.25) | 0.4bD |
| No.6 | 29.6 | 4773 | 1301 | 最大耐力 |
| (pw=1.0% 2時間加熱) | | (1.00) | (0.27) | 0.4bD σ _B 時に圧壊 |

表ー6 加熱冷却後の鉄筋降伏強度(N/mm²)

| 試験体 | 帯筋量 | 加熱時間 | 加熱温度 [℃] | | 残存比 | 加熱前 降伏強度 | 加熱冷却後 降伏強度 | | |
|-------|-------------|----------|-------------|-----|------|-------------|---------------|--|--|
| No.1 | N. 1 | 0時間 | 主筋:D19 | - | 1.00 | 401 | 401 | | |
| NO. I | | | 帯筋:D6 | - | 1.00 | 366 | 366 | | |
| No 2 | No. 2 0. 2% | 0.2% 1時間 | 主筋:D19 | 550 | 0.99 | 401 | 397 | | |
| NO. Z | | | 帯筋:D6 | 625 | 0.96 | 366 | 351 | | |
| No 2 | No 2 | 2時間 | 主筋:D19 | 788 | 0.87 | 401 | 349 | | |
| NO. 3 | | | 帯筋:D6 | 849 | 0.86 | 366 | 315 | | |
| No.4 | | 0時間 | 主筋:D22 | - | 1.00 | 400 | 400 | | |
| NU. 4 | 0.61 | | 帯筋:D10 | - | 1.00 | 344 | 344 | | |
| No 5 | 0.0% | 2時間 | 主筋:D22 | 788 | 0.87 | 400 | 348 | | |
| NO. 5 | | | 帯筋:D10 | 849 | 0.86 | 344 | 296 | | |
| No 6 | 1 00/ | .0% 2時間 | 主筋:D22 | 788 | 0.87 | 400 | 348 | | |
| NO. 0 | 1.0% | | 帯筋:D10 | 849 | 0 86 | 344 | 296 | | |

6.2 コンクリートの残存強度評価

(1) 内部温度式による評価

断面の中心へ向かって同心円状に熱劣化すると仮定 し,加熱冷却後のコンクリート圧縮強度を計算する。

まず,内部温度 T(℃)の算定には濱田ら⁴⁾の報告から, 高強度コンクリートのデータを代用することにする。非 線形のデータではあるが、便宜上線形と考え以下の式(4) を用いた。

dは部材表面からの深さ(mm)を表す。

加熱 1 時間後
$$0 \le d \le 100$$
 T=945-7.45d
 $100 < d \le 175$ T=260-0.6d
加熱 2 時間後 $0 \le d \le 150$ T=1110-6.07d
 $150 < d \le 175$ T=290-0.6 d (4)

次に、コンクリート圧縮強度残存比 y の算出には、以下 に示す本田ら⁵の提案式 (5)を用いた。

$$20 \le T \le 400 \qquad y=1-0.00079(T-20) \\ 400 < T \le 600 \qquad y=0.7-0.002(T-400) \\ 600 < T \qquad y=0.3-0.00058(T-600) \end{cases}$$
(5)

上記で述べた式を用い,加熱冷却後のコンクリート残存 圧縮強度を推定する。

 ①柱断面を10mm角にコマ分けし、各セルの内部温度、 強度残存比を求める。概略図として図-11に示す。
②それぞれの残存強度比に加熱前のテストピース値とそれぞれの面積比を掛け合わせ、全断面の値を平均する。

実際の試験体において加熱後もかぶりが残存してた No.2,No.3 は 350mm×350mm,加熱中にかぶりが剥落し た No.5,No.6 は 270mm×270mmの断面としてコンクリー トの残存強度比を求めた。

(2) 軸圧縮実験による耐力評価

前述した 6.2(1) 内部温度式によるコンクリートの残存強度評価の妥当性を検証することを目的として、軸圧 縮実験によるRC部材の耐力値より主筋負担分を差し引 き、残存コンクリート圧縮強度を求める。

①実験値で得られた鉛直変位より歪み($\epsilon = \Delta M$)を算出。 ②、 $\epsilon = \epsilon = \epsilon$ より、主筋負担荷重、Fを算出。

③実験値である RC 部材負担の軸圧縮荷重_{RC}F より②で 求めた主筋負担荷重_xF 引く。(**図-12**)

 ④コンクリート負担荷重(_cF=_{RC}F - _sF)をコンクリート断 面積(=350×350-sA)で除し,残存コンクリート圧縮強度 を算出。(図-13)

(3) 内部温度式と軸圧縮実験値による評価値の比較

内部温度式,軸圧縮実験値によるそれぞれの評価値と 無加熱のコンクリートピース圧縮強度値を表-7 に示す。

内部温度式による値は、1時間加熱のNo.2と2時間加熱のNo.3を比較すると、加熱時間の長さに応じて耐力残存率が低下している。帯筋量の相違で比較すると、かぶり無しで評価したNo.5,No.6が同じ加熱時間のNo.3と比較して小さい。

2 時間加熱した試験体の軸圧縮実験による計算値と内 部温度式による計算値はほぼ同値であるので,内部温度 式の評価はおおよそ妥当だと推察される。ただし,1 時 間加熱の No.2 の試験体は軸圧縮実験と内部温度式の計 算値が大きく異なる。しかし,No.2 は No.3 と比較して 加熱時間は半分かつ無加熱時のコンクリートピース圧縮 強度値も約 10N/mm²高い。No.2 は軸圧縮実験の終局圧 壊時に両脇のコンクリートかぶりが大きく削げているこ とより,曲げせん断加力実験におけるせん断破壊の影響 が大きかったのが原因だと思われる。





表-7 コンクリート圧縮強度の評価比較(N/mm²)

| 試験体 | テストビース値 加熱なし (実験値) | 内部温度式 (計算値) | 軸圧縮実験 (計算値) |
|-------------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| No.1 (pw=0.2% 加熱なし) | 28.9 | - | 9.4 |
| No.2 (pw=0.2% 1時間加熱) | 37 | 18.7 (かぶり有) | 8.4 |
| No.3 (pw=0.2% 2時間加熱) | 27.3 | 8.0 (かぶり有) | 11.1 |
| No.4 (pw=0.6% 加熱なし) | 24.9 | - | 6.5 |
| No.5 (pw=0.6% 2時間加熱) | 30.2 | 5.6 (かぶり無) | 4.4 |
| No.6 (pw=1.0% 2時間加熱) | 29.6 | 5.5 (かぶり無) | 5.0 |

6.3 加熱後の RC 部材の耐力評価

加熱後の RC 部材の耐力評価方法として,既往の式に 内部温度式による加熱後の材料推定値を代入する。既往 の式として,本稿では曲げ強度式(6) (N>0.4b・D・Fc の 時),せん断強度式として荒川 mean 式(3), 荒川 min 式(7), 終局強度型指針式(8)を用いた。これらによって求められ た値を表-8,図-14に示す。

$$M_{u} = 0.8a_{ts}\sigma_{y}D + 0.5ND\left(1 - \frac{N}{\sigma_{B}bD}\right)$$
(6)
$$V_{u} = \left\{\frac{0.053p_{t}^{0.23}(F_{c} + 18)}{M} + 0.85\sqrt{p_{w}\sigma_{wy}} + 0.1\sigma_{o}\right\}bj$$
(7)

$$\left(\begin{array}{c} \frac{M}{Qd} + 0.12 \\ Q_{u} = V_{t} + V_{a} = p_{w}\sigma_{wy}b_{j}\cos\theta + b\frac{D}{2}(1-\beta)\mu_{o}\sigma_{B}\tan\theta \\ \tan\theta = \frac{\sqrt{L^{2} + D^{2}} - L}{D}\cot\theta = \min\left\{2, \frac{j_{t}}{D\tan\theta}, \sqrt{\frac{\mu_{o}\sigma_{B}}{p_{w}\sigma_{wy}} - 1}\right\}\right\} (8)$$
$$\beta = \frac{p_{w}\sigma_{wy}(1 + \cot^{2}\theta)}{\mu_{o}\sigma_{B}} \quad \mu_{o} = 0.7 - \frac{\sigma_{B}}{200}$$

 $\mu_0 \sigma_B$

200

ただし、at:引張側主筋の総断面積、sov:主筋の降伏強 度(加熱ありの場合は表-6の値を用いる), σ_B:コンクリ ートの圧縮強度(加熱ありの場合は表-7内部温度式の値 を用いる), N:軸力(490kN), M/Qd:せん断スパン比(1以下 は1とし、3以上は3とする), B,D:No.1~No.4=350(mm), No.5~No.6=270(mm), d:有効性, jt,j:主筋中心間距離, L:試験体の内法高さとする。

評価方法として荒川式、特に指針式の値が実験値に近 い数値を示している。指針式での内訳値を考察してみる と、pw=0.2%である No.1~No.3 では無加熱の場合トラ ス・アーチ機構いずれもおおよそ等分であるが、加熱時 間が長くなると共にコンクリートの加熱劣化を内包して いるアーチ機構が小さくなる評価となっている。一方, pw=0.6%以上の No.4~No.6 の評価は大半をトラス機構で 占めていることが分かる。しかしながら、加熱ありで pw=0.6%以上の No.5~No.6 の評価方法は,実際の試験体 状況よりかぶりがないものと見なし、B×D=270(mm)× 270(mm)、同様にコンクリート圧縮強度も内部温度式に てかぶり無しとして断面評価を行っている。帯筋量が多 い場合,加熱後の残存耐力評価は大きくトラス機構負担 である結果となった。

7. まとめ

本報で得られた結論を以下に示す。

1) 初期剛性と最大耐力は加熱時間が長いほど値が小さく, 帯筋量の増加でその低下率は一層大きくなる。

2) 帯筋量の増加に伴い, 加熱後の損傷が大きくなる要因 として加熱時と加熱後における鉄筋の膨収縮が考えられ るが、本稿の実験結果のみでは不明点が多い。

3) 内部温度式と軸圧縮実験による残存材料強度評価はほ ぼ同値であったため,内部温度式による残存材料強度評 価は妥当と推察できる。

4) 特に終局強度型指針式による評価が実験値と適合性が

良いが、断面寸法設定において、柱断面の加熱後のかぶ りの有無を加味する必要ある。

謝辞

本研究における試験体の材料を東京鉄鋼株式会社様よ りご提供頂いたことに感謝致します。

表-8 評価式による耐力評価と実験値(kN)

| 評価方法 | 試験体名 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 | No. 6 |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | pw | 0. 2% | | | 0.6% | | 1.0% |
| | 加熱時間 | 加熱なし | 1時間 | 2時間 | 加熱なし | 2時間 | 2時間 |
| 実懸 | 実験値 | | 175 | 149 | 318 | 106 | 96 |
| 曲げ終 | 曲げ終局強度 | | 311 | 242 | 467 | 197 | 194 |
| 荒川mean式 | | 238 | 207 | 175 | 284 | 172 | 195 |
| 荒川n | 荒川min式 | | 183 | 158 | 258 | 154 | 178 |
| | 全体 | 251 | 199 | 129 | 405 | 128 | 110 |
| 靱性指針式 | アーチ機構 | 124 | 77 | 26 | 40 | 0 | 9 |
| | トラス機構 | 128 | 123 | 103 | 365 | 128 | 102 |



参考文献

1) 高木仁之, 白石一郎: 加熱を受けた鉄筋コンクリート 柱の強度・変形性能の劣化に関する研究, JCI 年次論文 集, vol.30, No.3, pp.121-126, 2008

2) 高木仁之, 白石一郎: 火熱を受けた RC 柱の耐震性能 と炭素繊維シート補強の効果, JCI 年次論文集, vol.31, No.2, pp.211-216, 2009

3) 日本建築学会:構造材料の耐火性ガイドブック,日本 建築学会, p123, 2004

4) 濱田真, 菊田繁美ほか: 超高強度材料を用いた鉄筋コ ンクリート柱の耐火性に関する研究:(その 10 Fc=120N/mm²級コンクリート柱の載荷加熱実験結果),日 本建築学会大会学術講演会梗概集(近畿), p.77-78, 2005.7 5) 本田義博, 大岡督尚, 藤巻敏之: 高強度コンクリート の耐火性に関する実験的研究(その1定常温度の一軸試 験),日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.23-24, 1996.9